

## Mobilité de la colonne vertébrale

P.J.M. SCHOLTEN (1), A.G. VELDHUISEN (2)

(1) Ingénieur attaché au service d'Anatomie et Biomécanique, Université Libre d'Amsterdam, (2) Chirurgien orthopédiste, Université de Groningen.

*En mobilisant la colonne vertébrale, une inclinaison latérale ne peut pas être effectuée sans une rotation axiale simultanée. Différents chercheurs ont mesuré ces actions simultanées par l'observation in vivo avec ou sans radiographies et par l'étude sur cadavres. Dans les grandes lignes ils trouvent une image analogue. En latéro-flexion de la colonne vertébrale, les apophyses épineuses tournent vers le côté convexe. Cette observation est surtout valable quand la colonne vertébrale est en flexion antérieure préalable.*

*Dans une position naturelle ou en extension cette image est moins nette. Dans la littérature on trouve sur la rotation axiale dans cette position naturelle ou étendue des opinions opposées. L'intention de cet article est de contribuer à l'explication du mécanisme de « couplage » entre les mouvements rotatoires de la colonne vertébrale.*

### 1. Introduction

La mobilité de la colonne vertébrale est déterminée par la position et par la forme des structures de liaison entre deux vertèbres, et leurs propriétés physiques. Les structures de liaison d'un segment moteur sont formées de plusieurs ligaments, d'un disque et de deux articulations synoviales. Les ligaments sont détaillés à la figure 1.

Repris de « *Nederlands Tijdschrift voor Fysiotherapie*, mai 1984, 94, 5. Publié avec la permission des auteurs et de l'éditeur.

Tirés à part : P.J.M. SCHOLTEN, à l'adresse ci-dessus.

L'ampleur du mouvement d'un segment moteur est surtout déterminée par les structures élastiques de l'anneau fibreux et des ligaments. La direction du mouvement est déterminée de façon majeure par la position de l'apophyse articulaire et par la forme des surfaces articulaires. La mobilité totale de la colonne vertébrale est déterminée par les possibilités de mouvement des segments moteurs et par la position de ces divers segments l'un par rapport à l'autre. Autrement dit la mobilité de la colonne vertébrale est en même temps déterminée par la forme de la colonne vertébrale.

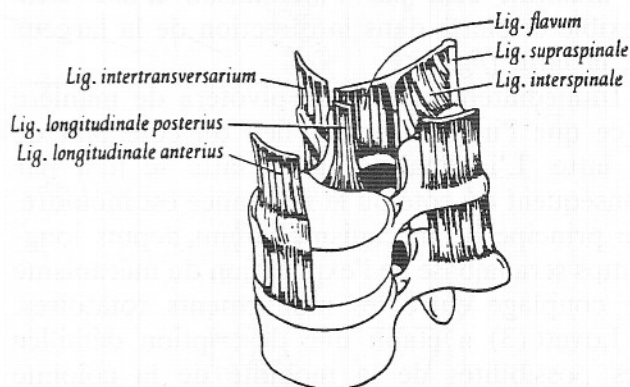


FIG. 1. - Les ligaments d'un segment moteur.

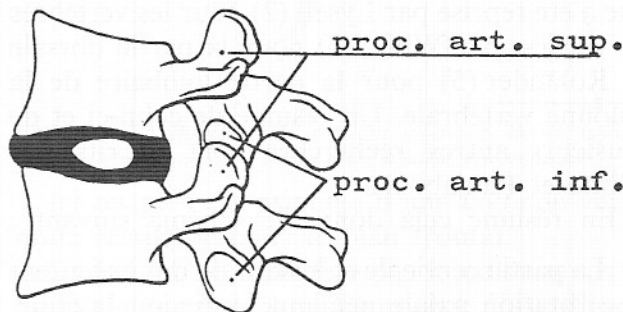


FIG. 2. - Les surfaces articulaires.

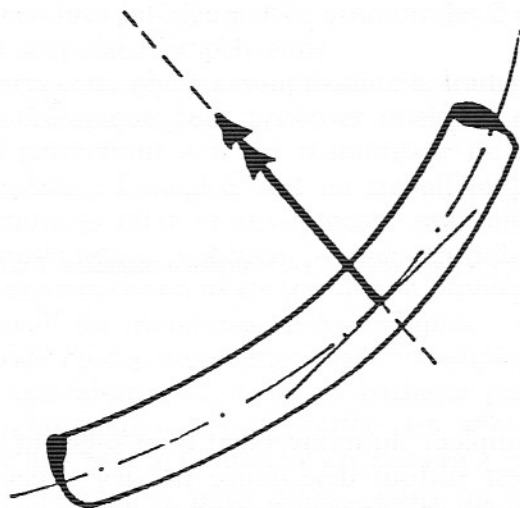


FIG. 3. - Direction de l'axe d'inclinaison pour une barre cylindrique homogène.

Que la forme de la colonne vertébrale influence la mobilité et entre autre la simultanéité (ou « couplage ») qui existe entre la flexion latérale et la rotation axiale est déjà connu depuis longtemps.

En 1844 Bigelow décrivait la simultanéité entre la rotation axiale et l'inclinaison latérale. Il illustre cela par l'inclinaison d'une latte flexible et plate dans la direction de la largeur de la latte (fig. 3).

Immédiatement la latte pivotera de manière à ce que l'inclinaison ait lieu du côté plat de la latte. L'inclinaison de la latte se fera par conséquent du côté où la résistance est moindre. Ce principe de mécanisme connu depuis longtemps sera la base de l'explication du mécanisme de couplage entre les mouvements rotatoires.

Lovett (3) a établi une description détaillée des possibilités de la mobilité de la colonne vertébrale en effectuant des études *in vivo* et sur des cadavres. Beaucoup plus tard, cette recherche a été reprise par Lysell (2) pour les vertèbres cervicales, par White (7) pour la partie dorsale et Rolander (5) pour la partie lombaire de la colonne vertébrale. Un résumé de celui-ci et de plusieurs autres recherches sont décrits par White et Panjabi (4).

En résumé cela donne le schéma suivant :

1) La partie cervicale et le haut du dos exécutent une rotation axiale pendant la flexion latérale, de sorte que les apophyses épineuses tournent

vers le côté convexe de la colonne vertébrale. Cela se produit aussi bien dans la position dorsale que dans la position de flexion ventrale de la colonne vertébrale.

2) Dans une position de flexion ventrale de la colonne vertébrale, la partie basse du thorax montre une image analogue à celle de la partie cervicale. La simultanéité entre la flexion latérale et la rotation axiale est ici moins importante que celle de la partie cervicale. Dans la flexion dorsale cette simultanéité est variable.

On décrit dans la littérature aussi bien une rotation vers le côté convexe que vers le côté concave de la colonne vertébrale dans l'inclinaison latérale.

3) La simultanéité pour la partie lombaire n'est pas très nette. Penjabi (4) montre cette simultanéité comme un mouvement inverse de celui de la région cervicale.

Une explication de ce schéma sera donnée en observant l'influence sur la mobilité de la forme de la colonne vertébrale sans articulations.

L'influence de la position des surfaces articulaires sera décrite en 3.

## 2. Influence de la forme de la colonne vertébrale sur les mouvements

La colonne vertébrale peut être divisée de plusieurs façons. Une division qui tient compte des dénominations anatomiques : la partie cervicale, la partie dorsale et la partie lombaire. Cette division s'adapte à la structure de la colonne vertébrale. Les parties cervicale et lombaire montrent une courbe lordosique, la partie dorsale montre une courbe cyphotique.

Une autre division peut être obtenue en regardant l'inclinaison des vertèbres par rapport au plan horizontal : dans une position redressée de la colonne vertébrale les vertèbres C1 jusqu'à D6 et L3 jusqu'à L5 sont proclives elles montrent une inclinaison ventrale.

Les vertèbres du D7 jusqu'à L2 sont déclives, elles montrent une inclinaison dorsale. L'une et l'autre sont représentées dans la figure 4. Pour

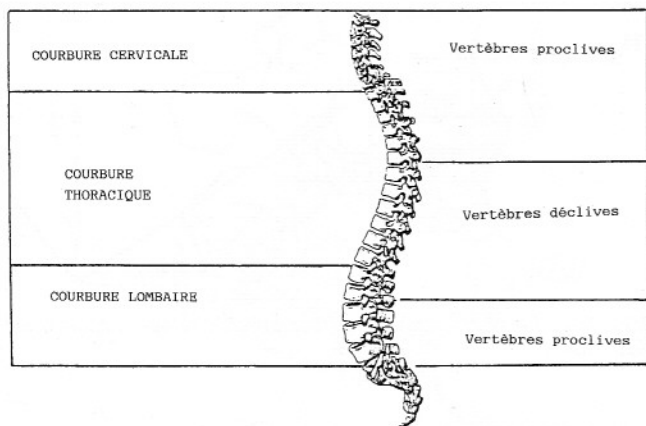


FIG. 4. - Les segments de la colonne vertébrale.

vérifier l'influence de la forme de la colonne vertébrale et donc de la position de la vertèbre sur la simultanéité entre la flexion latérale et la rotation axiale dans différentes positions, la colonne vertébrale est considérée comme une barre homogène. Il sera montré plus loin que cette simplification est admise.

En ce qui concerne l'inclinaison d'une colonne vertébrale, celle-ci se produira toujours autour d'un axe, autour duquel une moindre résistance contre l'inclinaison est effectuée. Pour une barre homogène c'est un axe perpendiculaire à un axe longitudinal, à l'endroit où l'inclinaison est examinée. Cet axe se trouve donc dans la partie de plus petit diamètre.

Quand on observe la colonne vertébrale comme une barre homogène, la partie proclive exécutera une rotation axiale négative pendant la flexion latérale, suite à l'inclinaison de la colonne vertébrale.

Une rotation négative axiale veut dire que les apophyses épineuses pivotent vers le côté convexe.

Une rotation positive axiale se produit au niveau des vertèbres déclives. Au niveau de ces vertèbres déclives les apophyses épineuses tournent vers le côté concave de l'inclinaison latérale de la colonne vertébrale. Une vue totale de cela se trouve en figure 5, comprenant les axes autour desquels l'inclinaison se produit pour les trois parties de la colonne vertébrale :

$\alpha$  - représente la flexion latérale avec rotation autour de l'axe horizontal.

$\beta$  - représente la rotation axiale avec rotation autour d'un axe vertical.

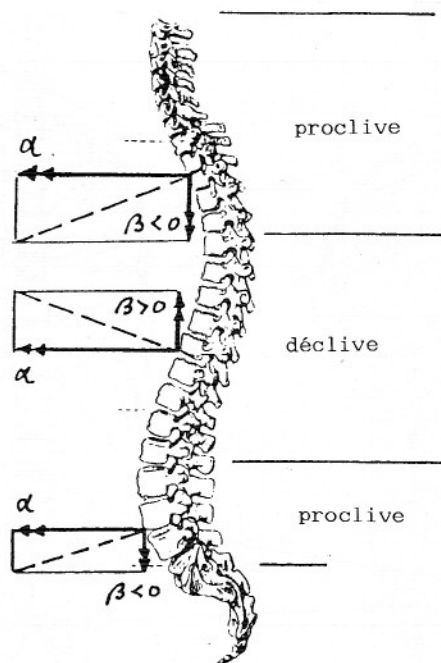


FIG. 5. - La direction de rotation axiale au cours d'une observation de la colonne vertébrale comme barre homogène.

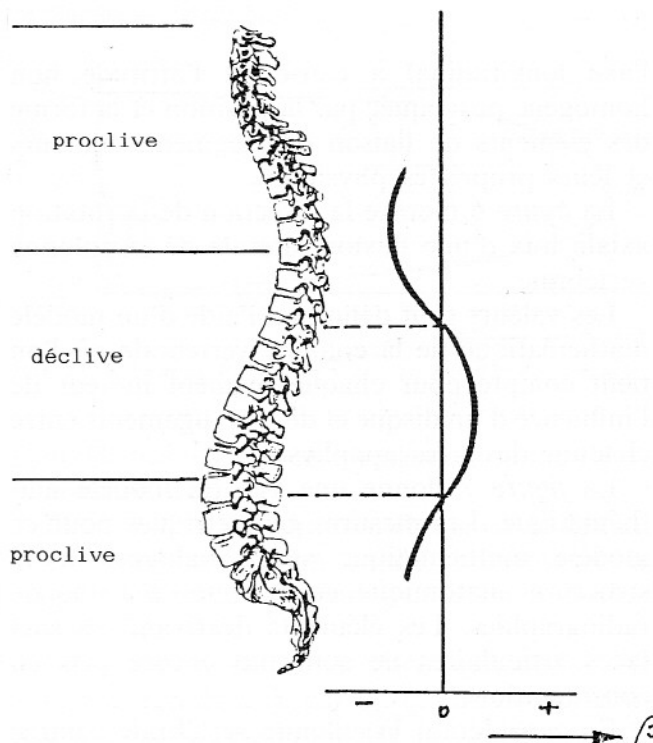


FIG. 6. - La direction de rotation axiale  $\beta$  de la colonne vertébrale déterminée à l'aide d'un modèle informatique.

Ici on part du principe d'une colonne vertébrale rectiligne dans le plan frontal.

Quand on ne considère pas la colonne vertébrale comme une barre homogène, l'axe d'inclinaison ne sera pas toujours perpendiculaire à

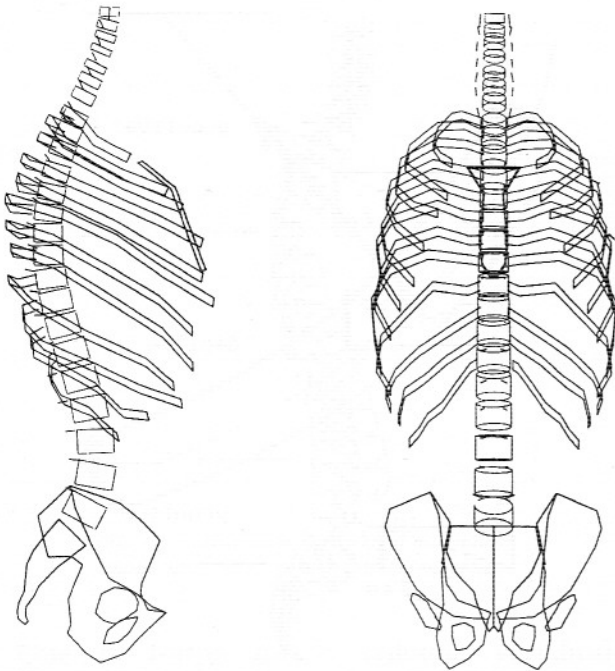


FIG. 7. - Composition d'un modèle informatique du tronc humain.

l'axe longitudinal à cause de l'attitude non homogène provoquée par la position et la forme des éléments de liaison des segments moteurs et leurs propriétés physiques.

La figure 6 montre la direction de la rotation axiale lors d'une flexion latérale de la colonne vertébrale.

Les valeurs sont définies à l'aide d'un modèle mathématique de la colonne vertébrale où l'on tient compte pour chaque segment moteur de l'influence d'un disque et de trois ligaments entre chacune des trois apophyses.

La figure 7 donne une vue du modèle mathématique. Les mesures géométriques pour ce modèle mathématique sont analogues à la structure anatomique et obtenues à l'aide de radiographies. Les éléments décrivant les surfaces articulaires ne sont pas encore pris en considération.

En considérant la colonne vertébrale comme une barre homogène, une rotation axiale négative de la partie dorsale de D1 à D6-D7 se produit.

Le modèle mathématique donne une rotation négative de D1 jusqu'au D8 et D9. Pour la partie restante de la colonne vertébrale, le modèle mathématique donne des résultats analogues en

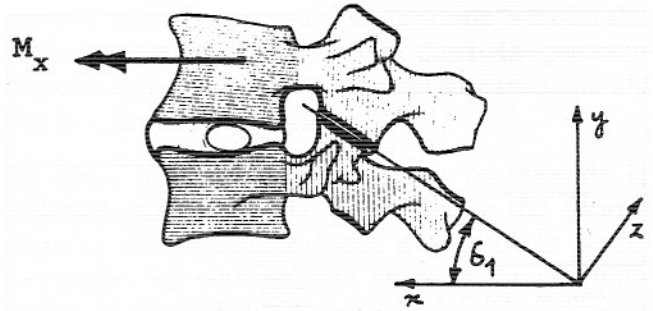


FIG. 8. - La position d'une surface articulaire par rapport à un axe frontal.

considérant la colonne vertébrale comme une barre homogène.

*In vivo* la direction de la rotation axiale de la partie dorsale haute correspond aux calculs. Au niveau de la partie basse du dos et lombaire, l'attitude *in vivo* n'est pas analogue. Les surfaces articulaires des segments moteurs de la partie basse du dos et lombaire devront prendre en considération l'inversion de la direction de la rotation axiale.

### 3. Influence de la position des surfaces articulaires

Les surfaces articulaires sont décrites dans le modèle au moyen d'éléments résistants au chargement axial et au poids de l'inclinaison. Les éléments ne possèdent aucune résistance aux forces transversales et à la torsion.

Indépendamment des propriétés physiques d'un élément articulaire, il peut se produire dans le modèle mathématique d'une articulation intervertébrale, une translation parallèle aux surfaces articulaires, couplée où non à une rotation, analogue à la flexion d'apophyse articulaire et/ou à la déformation du cartilage articulaire.

L'étude du mouvement est une analyse à trois dimensions.

Il y a un premier temps autour de l'axe des X, il est suivi d'une flexion latérale liée à une rotation axiale : rotation autour de l'axe des Y, et une antéflexion : rotation autour de l'axe Z.

Comme paramètre d'influence on observe l'inclinaison de la surface articulaire. La surface articulaire est perpendiculaire à la surface X-Y.

Dans la figure 8, on voit le paramètre

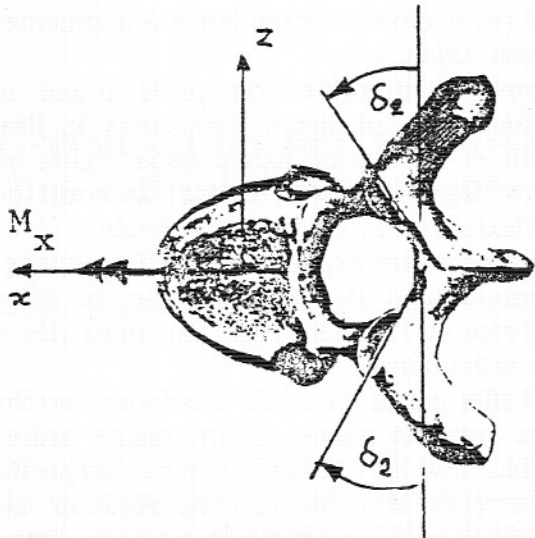


FIG. 9. - La position d'une surface articulaire par rapport à un axe vertical.

représentant la rotation autour de l'axe Z  $\delta_1$ .

En même temps l'influence de l'angle  $\delta_2$  est examinée. Ici la surface articulaire se trouve toujours perpendiculaire à la surface X-Z et  $\delta_2$  restitue la position autour de l'axe des Y (figure 9).

Les dimensions des deux vertèbres et la position des surfaces articulaires sont analogues à un segment moteur dorsal.

Dans la figure 10 se trouvent les résultats des calculs. La latéroflexion est ici représentée par  $\alpha$ , la rotation axiale  $\beta$ , et l'anteflexion par  $\gamma$ . Ces valeurs sont placées à l'horizontale, le paramètre  $\delta_1$  à la verticale.

Dans la figure 10 suit une progression de l'angle  $\delta_1$ ; une progression de l'angle de latéroflexion à la position des surfaces articulaires est telle que le mouvement peut être exécuté plus facilement.

Quant  $\delta_1 = 90^\circ$  les surfaces articulaires n'offrent plus de résistance et la latéroflexion est au maximum. Lors d'une progression de l'angle  $\delta_1$ , une progression de grandeur de la rotation axiale suit jusqu'à une position de  $45^\circ$  des surfaces articulaires, après la rotation axiale diminue. La direction de la rotation axiale est à gauche, c'est-à-dire que l'apophyse épineuse tourne vers le côté convexe cela correspond à l'attitude *in vivo*.

L'anteflexion est positive se passe de façon analogue à la rotation axiale. La valeur de

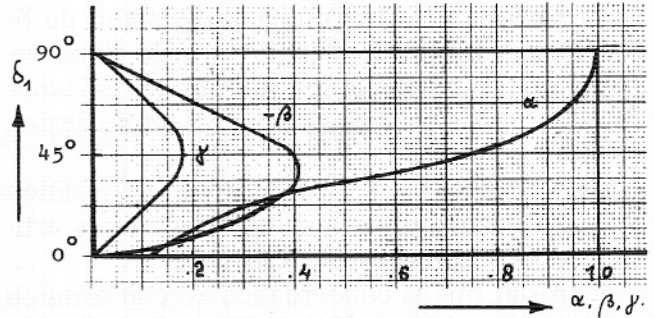


FIG. 10. - Le rapport entre  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  en fonction de l'angle  $\delta_1$ .

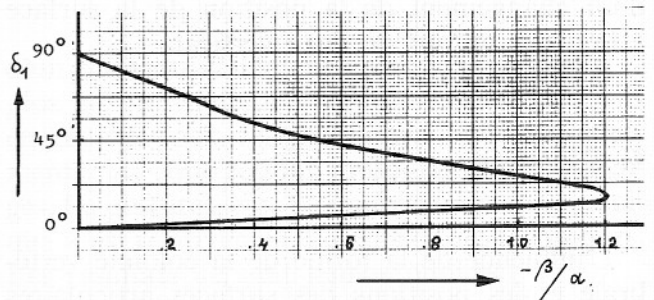


FIG. 11. - Le rapport entre la rotation axiale et la flexion latérale en fonction de l'angle  $\delta_1$ .

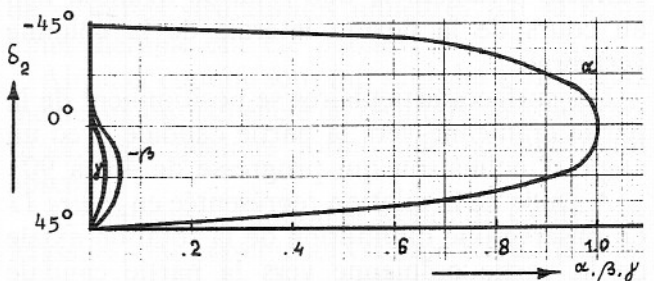


FIG. 12. - Le rapport entre  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  en fonction de l'angle  $\delta_2$ .

l'anteflexion  $\gamma$  représente seulement la moitié de la rotation axiale  $\beta$ .

Pour restituer la simultanéité entre la flexion latérale et la rotation axiale, on observe le rapport entre la rotation axiale et la flexion latérale (fig. 11).

La position de la surface articulaire est verticale, représentée par  $\delta_1$ , et elle est horizontale à  $\beta/\alpha$ , la relation entre la rotation axiale et la flexion latérale. De cette figure on peut déduire la progression de la rotation axiale : quand l'angle  $\delta_1$  dépasse  $20^\circ$ , on observe une diminution rapide de cette simultanéité.

Dans la figure 12 se trouvent les rotations  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  avec, comme paramètre, l'angle  $\delta_2$ . Ici aussi le moment de la flexion latérale est décrit.

Il en suit qu'au cours d'une progression de  $\delta_2$  en valeur absolue la flexion latérale diminue.

Les surfaces articulaires offrent une résistance de plus en plus grande au mouvement de flexion latérale.

La valeur  $\delta_2 = 0^\circ$  s'accorde à la position  $\delta_1 = 90^\circ$ ; dans cette position les surfaces articulaires n'offrent pas de résistance.

Il en suit que la concordance avec la rotation axiale, montrée par l'angle  $\beta$  et l'anteflexion montrée par l'angle  $\gamma$ , est négligeable au cours d'un changement de la position de la surface articulaire autour de l'axe vertical.

#### 4. Conclusion

L'influence de la forme de la colonne vertébrale et les positions des surfaces articulaires jouent sur la simultanéité de la flexion latérale et la rotation axiale. Du fait de la position des surfaces articulaires, une rotation axiale a lieu au cours de la flexion latérale de la colonne vertébrale.

Les surfaces articulaires se positionnent de la partie crânienne vers la partie caudale avec un angle d'inclinaison qui progresse de  $45^\circ$  à  $90^\circ$ .

À l'aide de la relation représentée en *figure 11* on observe une diminution de la rotation axiale de la partie crânienne vers la partie caudale pendant la flexion latérale. Dans la partie haute du dos cette rotation axiale est augmentée par la position proclive des vertèbres.

Une extension de la colonne vertébrale à ce niveau favorise une relation axiale plus nette.

Vercauteren (6) parle d'une fonction stabilisante ou neutralisante de ces vertèbres proclives.

Dans la partie basse du dos et la partie lombaire haute, la rotation axiale est minimisée par la position des vertèbres en flexion latérale de la colonne vertébrale.

Une extension de la colonne vertébrale à ce niveau offre une moindre résistance à la rotation axiale, ce qui résulte ensuite en une rotation axiale plus grande. Vercauteren (6) dit que ces

vertèbres déclives ont tendance à augmenter la rotation axiale.

Dans la littérature on parle d'une non-simultanéité à plusieurs sens entre la flexion latérale et la rotation axiale de la région basse du dos. Ceci se produit surtout au cours de la rétroflexion de la colonne vertébrale.

Cela peut être expliqué par l'effet opposé sur la simultanéité de la forme de la colonne vertébrale et l'influence des positions des surfaces articulaires.

Si l'effet par la forme de la colonne vertébrale sur la rotation axiale est du même ordre de grandeur que la rotation axiale par les positions des surfaces articulaires, cette rotation axiale secondaire peut être positive, négative ou presque nulle, dépendant de l'anteflexion ou de la rétroflexion de la colonne vertébrale.

Au cours de l'inclinaison en avant de la colonne vertébrale les vertèbres déclinent en prenant une position de vertèbres proclives. De cette façon il apparaît plus clairement que par cette position de la colonne vertébrale il existe une simultanéité entre la flexion latérale et la rotation axiale.

Dans la partie basse de la colonne vertébrale la rotation axiale est renforcée par la position proclive des vertèbres. Cette rotation axiale est très petite par suite de la position à peu près verticale. Cette position des surfaces articulaires correspond à l'expérience clinique.

#### Références

1. BIGELOW H.J. - pp. 29 dans : *Lateral curvature of the spine*, par R.W. Lovett, 1916.
2. LYSELL E. - Motion in the cervical spine. *Thèse, Acta Orthop. Scand.*, suppl. 123, 1969.
3. LOVETT R.W. - *Am. J. Anat.*, 1905, II, 457.
4. WHITE A.A., PANJABI M.M. - *Clinical biomechanics of the spine*. Lippincott, Company, 1978.
5. ROLANDER S.D. - Motion of the Lumbar spine with special reference to the stabilizing effect of posterior fusion, *these, Acta Orthop. Scand.*, 90, 1966.
6. VERCAUTEREN M. - *Dorso-Lumbale curven distributie en etiopathogenie du scoliosis adolescentium*.
7. WHITE A.A. - Analysis of the mechanics of the thoracic spine in man. *Thèse, Acta Orthop. Scand.*, 127, 1969.